

**PERENCANAAN JARINGAN KERJA
PEMBANGUNAN BLOK KAMAR MESIN KAPAL *FERRY RO-RO 750 GT*
YANG TERINTEGRASI DENGAN SISTEM PERPIPAAN**

SKRIPSI

*Diajukan kepada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk memenuhi
sebagian persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik
di bidang Perkapalan*



Oleh :

Nanang Rusno Badaruddin Iman

D031171007

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti Seminar dan Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul Skripsi

**“PERENCANAAN JARINGAN KERJA
PEMBANGUNAN BLOK KAMAR MESIN KAPAL FERRY RO-RO 750 GT YANG
TERINTEGRASI DENGAN SISTEM PERPIPAAN”**

Disusun Oleh:

Nanang Rusno Badaruddin Iman

D031171007

Gowa, 31 Oktober 2022

Telah diperiksa dan disetujui Oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II

Moh. Rizal Firmansyah, ST., MT, M.Eng.

Nip: 19701001 200012 1 001

Fadhil Rizki Clauthaldi, S.T., B.Eng., M.Sc.

Nip: 19940614 202204 3 001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DR. Eng. Suandar Baso, ST. MT.

NIP: 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang Bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nanang Rusno Badaruddin Iman

NIM : D031171007

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

“Perencanaan Jaringan Kerja Pembangunan Blok Kamar Mesin Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT Yang Terintegrasi Dengan Sistem Perpipaaan”

Adalah karyatulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasilnya karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi ata perbuatan tersebut.

Gowa, 31 Oktober 2022

Yang menyatakan,



Nanang Rusno B.I

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu,

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dan juga berkah, rahmat serta hidayah-Nya yang senantiasa diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Perencanaan Jaringan Kerja Pembangunan Blok Kamar Mesin Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT Yang Terintegrasi Dengan Sistem Perpipaan” sebagai syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana (S1) Teknik Perkapalan pada Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyusunan skripsi ini banyak sekali hambatan dan rintangan yang penulis hadapi namun akhirnya penulis bisa melaluinya hal ini karena adanya bantuan dan juga bimbingan dari berbagai pihak baik moral maupun spiritual.

Untuk itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Seluruh keluarga yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan agar tidak pantang menyerah, serta mengingatkan untuk senantiasa bersabar selama pengerjaan skripsi ini.
2. Bapak M. Rizal Firmansyah, ST., MT., M.Eng., selaku pembimbing 1 (satu) dan Bapak Fadhil Rizki Clausthaldi, S.T., B.Eng., selaku pembimbing 2 (dua), yang telah memberi motivasi, membagi pengetahuan, mengoreksi, dan memperbaiki tulisan skripsi ini.
3. Bapak Wahyuddin, ST., MT. dan Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT. selaku tim penguji yang memberikan banyak saran dan membagi pengetahuan untuk penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas ilmu, pengetahuan dan wawasan serta pengalaman yang diberikan selama masa studi penulis.

6. Seluruh staf pegawai Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu selama ini.
7. Pihak PT IKI Persero atas data, waktu, dan kesempatan yang diberikan kepada penulis.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Perkapalan angkatan 2017.
9. Segenap keluarga besar Labo Produksi Departemen Teknik Perkapalan.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini dalam bentuk apapun yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih banyak. Semoga kita semua senantiasa dalam lindungan Allah Subhana Wata'ala.

Mudah-mudahan Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan karunianya kepada semua pihak yang telah memberikan segala bantuannya. Hasil penelitian ini tentu saja masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan penulis, sehingga mungkin terdapat banyak kekurangan.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi karya yang memberi dampak positif. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya. Amin Ya Rabbal Alamin

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gowa, Oktober 2022

Penulis
Nanang Rusno B.I

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Hasil dan manfaat penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Karakteristik Kapal <i>Ferry</i>	5
2.2. Kontruksi Kapal	6
2.2.1. Sistem Kontruksi Kapal	6
2.2.2. Elemen Konstruksi Kapal.....	6
2.3. Instalasi Perpipaan.....	13
2.3.1. Material Instalasi Pipa.....	13
2.3.2. Gambar Produksi	14
2.3.3. Identifikasi Komponen Pipa	15
2.4. Proses Pembangunan Kapal	15
2.5. Teknologi Produksi Kapal	17
2.5.1. <i>Conventional Hull Construction and Outfitting</i>	17
2.5.2. <i>Hull Block Construction Method dan Pre Outfitting</i> (Sistem Seksi atau Blok Konvensional)	18
2.5.3. <i>Procces-lane Hull Construction dan Zone Outfitting atau Full Outfitting Block System (FOBS)</i>	19
2.5.4. <i>Integrated Hull Construction, Outfitting and Painting (IHOP)</i>	19

2.6. Konsep Product Work Breakdown Structure (PWBS)	20
2.6.1. Hull Block Construction Method (HBCM)	22
2.6.2. Zone Outfitting Method (ZOFM).....	25
2.6.3. Zone Painting Method (ZPTM).....	27
2.6.4. Pipe Piece Family Manufacturing (PPFM).....	27
2.7. Teori Pemotongan	29
2.8. Teori Pengelasan	30
2.8.1. Prosedur Pengelasan (WPS).....	30
2.8.2. Posisi Pengelasan.....	31
2.9. Manajemen Waktu Proyek.....	32
2.9.1. Beban Kerja.....	32
2.9.2. Produktivitas.....	32
2.10. Network Planning (Perencanaan Jaringan Kerja).....	33
2.11. Metode – Metode Pengolahan	36
2.11.1. Program Evaluation and Review Technique (PERT)	36
2.11.2. Critical Path Method (CPM)	38
BAB III METODE PENELITIAN	41
3.1. Jenis Penelitian.....	41
3.2. Teknik Pengumpulan Sumber Data	41
3.2.1. Teknik pengambilan data	41
3.2.2. Jenis data dan sumber data	41
3.3. Kerangka Pikir	42
3.3.1. Pembuatan Model 3D Perpipaan	42
3.3.2. Penyusunan Jaringan Kerja	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1. Data Penelitian	46
4.1.1. Ukuran Utama Kapal	46
4.1.2. Gambar Representatif	46
4.1.3. Dimensi Blok.....	47
4.2. Gambar Model 3D.....	48
4.3. Alur Pembangunan	53
4.3.1. Skenario Pembangunan.....	53
4.3.2. Fabrication.....	54
4.3.3. Assembly Block 2.....	58

4.3.4. Assembly Block 3.....	69
4.3.5. Assembly Block 4.....	78
4.3.6. Erection Block.....	87
4.4. Logika Ketergantungan dan Jaringan Kerja.....	89
4.4.1. Blok II.....	89
4.4.2. Blok III.....	91
4.4.3. Blok IV.....	92
4.4.4. Erection Block.....	94
4.5. Identifikasi Kegiatan dan Beban Kerja.....	95
4.6. Durasi Pekerjaan Blok.....	102
4.7. Perencanaan Diagram Jaringan Kerja.....	106
4.8. Jalur Kritis.....	113
BAB V PENUTUP.....	117
5.1. Kesimpulan.....	117
5.2. Saran.....	118
DAFTAR PUSTAKA.....	119
LAMPIRAN.....	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Tahapan Perkembangan Teknologi Produksi	17
Gambar 2. 2. Tingkat manufaktur atau tahapan HBCM.....	23
Gambar 2. 3. Tingkat Produksi pada metode PPFM.....	28
Gambar 2. 4. Aliran Kerja Pada Pipe-Piece Family.....	29
Gambar 2. 5. Jenis-Jenis Pengelasan.....	31
Gambar 2. 6. Diagram Jaringan Kerja AOA	35
Gambar 2. 7. Diagram Jaringan Kerja AON	36
Gambar 3. 1. Kerangka Pikir	45
Gambar 4. 1. Pembagian Blok Kamar Mesin KMP Lakaan.....	47
Gambar 4. 2. Model 3D Blok 2	48
Gambar 4. 3. Model 3D Blok 3	48
Gambar 4. 4. Model 3D Blok 4	48
Gambar 4. 5. Model 3D Sub Blok Bottom	49
Gambar 4. 6. Model 3D Sub Blok Bulkhead.....	49
Gambar 4. 7. Model 3D Sub Blok Side.....	49
Gambar 4. 8. Model 3D Sub Blok Deck	50
Gambar 4. 9. Model 3D Pilar.....	50
Gambar 4. 10. Model 3D Sistem Perpipaan Exhaust	50
Gambar 4. 11. Model 3D Sistem Perpipaan Isi	51
Gambar 4. 12. Model 3D Sistem Perpipaan Duga	51
Gambar 4. 13. Model 3D Sistem Perpipaan Udara.....	51
Gambar 4. 14. Model 3D Sistem Perpipaan Air Compressor.....	51
Gambar 4. 15. Model 3D Sistem Perpipaan Sanitasi Air Tawar	52
Gambar 4. 16. Model 3D Sistem Perpipaan Sanitasi Air Laut	52
Gambar 4. 17. Model 3D Sistem Perpipaan Bilga Ballast	52
Gambar 4. 18. Model 3D Sistem Perpipaan Bahan Bakar	52
Gambar 4. 19. Model 3D Sistem Perpipaan Minyak Pelumas	53
Gambar 4. 20. Model 3D Sistem Perpipaan Pendingin Air Laut.....	53
Gambar 4. 21. Sistem Perpipaan Pendingin Air Tawar.....	53
Gambar 4. 22. Hirarki Perakitan Blok 2.....	58
Gambar 4. 23. Urutan Perakitan Sub Blok Bottom Blok 2.....	60
Gambar 4. 24. Urutan Perakitan Sub Blok Transvers Bulkhead Blok 2	61
Gambar 4. 25. Urutan Perakitan Sub Blok Longitudinal Bulkhead Blok 2.....	61
Gambar 4. 26. Urutan Perakitan Sub Blok Starboard / Sub Blok Portside Blok 2	62
Gambar 4. 27. Urutan Perakitan Sub Blok Deck Blok 2	63
Gambar 4. 28. Urutan Perakitan Pilar Blok 2	63
Gambar 4. 29. Perakitan Zona On-Unit 1 Blok 2	64
Gambar 4. 30. Perakitan Zona On-Unit 2 Blok 2	64

Gambar 4. 31. Perakitan Zona On-Unit 3 Blok 2	65
Gambar 4. 32. Perakitan Zona On-Unit 4 Blok 2	65
Gambar 4. 33. Perakitan Zona On-Block Blok 2.....	65
Gambar 4. 34. Perakitan Zona On-Unit 5 Blok 2	66
Gambar 4. 35. Assembly Sub Blok Blok 2.....	68
Gambar 4. 36. Hirarki Perakitan Blok 3.....	69
Gambar 4. 37. Urutan Perakitan Sub Blok Bottom Blok 3.....	71
Gambar 4. 38. Urutan Perakitan Sub Blok Starboard / Sub Blok Portside Blok 3	72
Gambar 4. 39. Urutan Perakitan Sub Blok Deck Blok 3	73
Gambar 4. 40. Urutan Perakitan Pilar Blok 3	73
Gambar 4. 41. Perakitan Zona On-Block A Blok 3	74
Gambar 4. 42. Perakitan Zona On-Block B Blok 3	74
Gambar 4. 43. Perakitan Zona On-Unit Blok 3	75
Gambar 4. 44. Assembly Sub Blok Blok 3.....	77
Gambar 4. 45. Hirarki Perakitan Blok 4.....	78
Gambar 4. 46. Urutan Perakitan Sub Blok Bottom Blok 4.....	80
Gambar 4. 47. Urutan Perakitan Sub Blok Transvers Bulkhead Blok 4	81
Gambar 4. 48. Urutan Perakitan Sub Blok Longitudinal Bulkhead Blok 4.....	81
Gambar 4. 49. Urutan Perakitan Sub Blok Starboard / Sub Blok Portside Blok 4	82
Gambar 4. 50. Urutan Perakitan Sub Blok Deck Blok 4	82
Gambar 4. 51. Urutan Perakitan Pilar Blok 4.....	83
Gambar 4. 52. Perakitan Zona On-Block	83
Gambar 4. 53. Perakitan Zona On-Unit.....	84
Gambar 4. 54. Assembly Sub Blok Blok 4.....	86
Gambar 4. 55. Erection Blok Kamar Mesin	88
Gambar 4. 56. Jaringan Kerja Blok 2.....	90
Gambar 4. 57. Jaringan Kerja Blok 3.....	92
Gambar 4. 58. Jaringan Kerja Blok 4.....	93
Gambar 4. 59. Jaringan Kerja Erection Blok.....	94
Gambar 4. 60. Diagram Jaringan kerja Blok 2	107
Gambar 4. 61. Diagram Jaringan kerja Blok 3	108
Gambar 4. 62. Diagram Jaringan kerja Blok 4	108
Gambar 4. 63. Diagram Jaringan kerja Erection Blok	108
Gambar 4. 64. Jalur Kritis Blok 2	113
Gambar 4. 65. Jalur Kritis Blok 3	114
Gambar 4. 66. Jalur Kritis Blok 4	115
Gambar 4. 67. Jalur Kritis Erection Blok	116

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Dimensi Blok Lambung Kapal Lakaan.....	47
Tabel 4. 2. Logika Ketergantungan Blok 2.....	89
Tabel 4. 3. Logika Ketergantungan Blok 3.....	91
Tabel 4. 4. Logika Ketergantungan Blok 4.....	92
Tabel 4. 5. Logika Ketergantungan Kegiatan Erection Blok.....	94
Tabel 4. 6. Jenis kegiatan Blok 2	95
Tabel 4. 7. Jenis kegiatan Blok 3	96
Tabel 4. 8. Jenis kegiatan Blok 4	97
Tabel 4. 9. Jenis Kegiatan Erection blok.....	98
Tabel 4. 10. Beban Kerja Blok 2.....	98
Tabel 4. 11. Beban Kerja Blok 3.....	100
Tabel 4. 12. Beban Kerja Blok 4.....	100
Tabel 4. 13. Beban Kerja Erection blok	101
Tabel 4. 14. Daftar Perencanaan Produktivitas.....	102
Tabel 4. 15. Daftar Perencanaan Tenaga Kerja Per Blok	103
Tabel 4. 16. Durasi Pengerjaan Blok 2.....	103
Tabel 4. 17. Durasi Pengerjaan Blok 3.....	104
Tabel 4. 18. Durasi Pengerjaan Blok 4.....	105
Tabel 4. 19. Durasi Pengerjaan Kegiatan Erection Blok.....	106
Tabel 4. 20. Keterangan Es, Ef, Ls, Dan Lf Blok 2	109
Tabel 4. 21. Keterangan Es, Ef, Ls, Dan Lf Blok 3	110
Tabel 4. 22. Keterangan Es, Ef, Ls, Dan Lf Blok 4	110
Tabel 4. 23. Keterangan Es, Ef, Ls, Dan Lf Erection Blok	111
Tabel 4. 24. Berat Pekerjaan Kg/Hari	112
Tabel 4. 25. Keterangan jalur kritis Es, Ef, Ls, Dan Lf Blok 2.....	113
Tabel 4. 26. Keterangan jalur kritis Es, Ef, Ls, Dan Lf Blok 3.....	114
Tabel 4. 27. Keterangan jalur kritis Es, Ef, Ls, Dan Lf Blok 4.....	115
Tabel 4. 28. Keterangan jalur kritis Es, Ef, Ls, Dan Lf Erection Blok.....	116

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Gambar Lines Plan KMP Lakaan.....	122
LAMPIRAN 2. Gambar Sheel Expansion.....	123
LAMPIRAN 3. Gambar Konstruksi Profil.....	124
LAMPIRAN 4. Gambar Konstruksi Sekat.....	125
LAMPIRAN 5. Gambar Pondasi Kamar Mesin.....	126
LAMPIRAN 6. Gambar Rencana Umum.....	127
LAMPIRAN 7. Gambar Rencana Kamar Mesin.....	128
LAMPIRAN 8. Sistem perpipaan exhaust.....	129
LAMPIRAN 9. Sistem perpipaan isi, duga, dan pipa udara.....	130
LAMPIRAN 10. Sistem perpipaan air compressor.....	131
LAMPIRAN 11. Sistem sanitasi air tawar.....	132
LAMPIRAN 12. Sistem sanitasi air laut.....	133
LAMPIRAN 13. Sistem bilga ballast.....	134
LAMPIRAN 14. Sistem bahan bakar.....	135
LAMPIRAN 15. Sistem minyak pelumas.....	136
LAMPIRAN 16. Sistem pendingin air laut.....	137
LAMPIRAN 17. Sistem pendingin air tawar.....	138
LAMPIRAN 18. Gambar Model 3D.....	139
LAMPIRAN 19. PWBS (Product Work Breakdown Structure) Blok 2.....	140
LAMPIRAN 20. PWBS (Product Work Breakdown Structure) Blok 3.....	168
LAMPIRAN 21. PWBS (Product Work Breakdown Structure) Blok 4.....	190
LAMPIRAN 22. PWBS (Product Work Breakdown Structure) Sistem perpipaan.....	223
LAMPIRAN 23. Beban Kerja Blok 2.....	321
LAMPIRAN 24. Beban Kerja Blok 3.....	349
LAMPIRAN 25. Beban Kerja Blok 4.....	371
LAMPIRAN 26. Beban Kerja Sistem Perpipaan.....	403
LAMPIRAN 27. Beban Kerja Assembly.....	522
LAMPIRAN 28. Durasi Blok Blok 2.....	524
LAMPIRAN 29. Durasi Blok Blok 3.....	548
LAMPIRAN 30. Durasi Blok Blok 4.....	567
LAMPIRAN 31. Durasi Blok Sistem Perpipaan.....	594
LAMPIRAN 32. Durasi Kerja Assembly.....	641

Perencanaan Jaringan Kerja Pembangunan Blok Kamar Mesin Kapal *Ferry Ro-Ro* 750 GT Yang Terintegrasi Dengan Sistem Perpipaan

Moh. Rizal Firmansyah¹, Fadhil Rizki Clausthaldi², Nanang³

^{1,2,3}Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Poros Malino Km.6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia

ABSTRAK

Pembangunan kapal yang menggunakan metode tradisional memiliki jangka waktu pembangunan yang lama pada proses pembangunannya. Olehnya itu penggunaan metode yang modern dapat mengurangi jangka waktu pembangunan kapal pada sebuah galangan. Salah satu solusi percepatan pembangunan adalah menggunakan metode *Process-lane Hull Construction and Zone Outfitting* (FOBS), dimana metode ini mengintegrasikan pembangunan blok kapal dengan perlengkapan kapal.

Objek pada penelitian ini adalah kapal KMP Lakaan dengan tipe *Ferry Ro-Ro* 750 GT. Perincian komponen-komponen blok lambung kapal menggunakan metode *Product Work Breakdown Structure* (PWBS) dan untuk menganalisa jaringan kerja pembangunan menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui proses integrasi antara perakitan blok dan perakitan sistem perpipaan, durasi pembangunan dan jalur kritis.

Berdasarkan hasil pengolahan data, integrasi pembangunan blok dan sistem perpipaan dirakit secara *on-unit* dan *on-block*. Durasi yang diperoleh dalam pembangunan 3 blok pada kamar mesin sebagai berikut : blok 2 selama 38 hari, blok 3 selama 21 hari dan blok 4 selama 39 hari.

Kata Kunci : Jaringan Kerja, Integrasi, Durasi, Jalur Kritis

Network Planning for Construction of 750 GT Ro-Ro Ferry Engine Room Blocks Integrated with Piping Systems

Moh. Rizal Firmansyah¹, Fadhil Rizki Clausthaldi², Nanang³
^{1,2,3}Naval Engineering Departement, Faculty of Engineering, University of
Hasanuddin
Poros Malino Km.6, Bontomarannu, Gowa, South Sulawesi, Indonesia

ABSTRACT

Shipbuilding using traditional methods has a long development period in the construction process. Therefore, the use of modern methods can reduce the duration of shipbuilding in a shipyard. One solution to accelerate development is to use the Process-lane Hull Construction and Zone Outfitting (FOBS) method, where this method integrates ship block construction with ship outfitting.

The object of this research is the KMP Lakaan ship with the type of Ferry Ro-Ro 750 GT. The breakdown of the components of the hull block uses the Product Work Breakdown Structure (PWBS) method and to analyze the development network using the Critical Path Method (CPM). The purpose of this study was to determine the integration process between block assembly and piping system assembly, construction duration and critical path.

Based on the results of data processing, the integration of building blocks and piping systems is assembled on-unit and on-block. The duration obtained in the construction of three blocks in the engine room is as follows: block 2 for 38 days, block 3 for 21 days and block 4 for 39 days.

Keywords: Network, Integration, Duration, Critical Path

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Galangan kapal adalah tempat dimana kapal dan bangunan apung lainnya dibangun. Persaingan di industri pembangunan kapal sangat ketat. Daya saing sebuah galangan kapal ditentukan oleh kemampuannya untuk menghasilkan produk kapal dengan harga yang kompetitif, kualitas terjamin dan waktu pembangunan yang singkat.

Kerja pembangunan kapal adalah pekerjaan yang sangat kompleks karena melibatkan berbagai material konstruksi dan sumber daya dalam proses pengerjaannya. Selain itu, beberapa galangan di Indonesia masih menggunakan metode pembangunan kapal yang tergolong tradisional

Dengan tergantungnya pada sumber daya, fasilitas galangan dan penggunaan metode tradisional maka pengerjaan proyek pembangunan kapal akan berlangsung dalam waktu yang sangat lama.

Pembangunan kapal menggunakan metode yang lebih maju seperti pembangunan konstruksi blok yang terintegrasi dengan pengerjaan outfitting memungkinkan pembangunan kapal akan mengalami kemajuan yang pesat dari segi waktu pembangunan. Pembangunan juga memerlukan analisis untuk mendapatkan waktu pembangunan yang efektif dengan batasan sumber daya yang tersedia. Olehnya itu, guna meningkatkan kualitas perencanaan dan pengontrolan aktivitas maka diperlukan-analisis jaringan kerja.

Jaringan kerja ialah salah satu model yang dapat meningkatkan kualitas kerja. Adapun metode yang digunakan pada pembangunan kapal ialah metode jalur kritis (Critical Path Method). Penggunaan jaringan kerja berguna untuk mengontrol aktivitas-aktivitas yang terjadi pada proses pembangunan kapal yang mempertimbangkan sumber daya. Selain itu jaringan kerja juga sebagai bentuk pengurutan aktivitas yang saling terkait dalam pembangunan kapal atau perakitan

blok kapal sehingga perencanaan dan pengawasan dapat dilakukan secara sistematis dan efisien.

Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai pembangunan blok kamar mesin yang terintegrasi dengan pekerjaan sistem perpipaan yang tertuang dalam judul: PERENCANAAN JARINGAN KERJA PEMBANGUNAN BLOK KAMAR MESIN KAPAL *FERRY RO-RO 750 GT* YANG TERINTEGRASI DENGAN SISTEM PERPIPAAN.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan pembahasan pada latar belakang, diperoleh beberapa rumusan masalah :

1. Bagaimana jalur kritis pembangunan blok kamar mesin dengan sistem perpipaan dalam pembangunan kapal *Ferry Ro-ro 750 GT*?
2. Berapa durasi waktu pembangunan blok kamar mesin dengan sistem perpipaan dalam pembangunan kapal *Ferry Ro-ro 750 GT*?

1.3. Batasan Masalah

Berikut batasan masalah pada penelitian ini :

1. Tahapan perakitan blok kamar mesin dimulai dengan tahapan fabrikasi, *sub block assembly*, dan *block assembly*. Untuk kegiatan erection tidak termasuk.
2. Perhitungan durasi waktu mulai dari fabrikasi hingga *block assembly* untuk konstruksi dan perpipaan.
3. Pembagian dan perakitan untuk blok kapal menggunakan metode PWBS (*Product Work Breakdown Structure*) dan dengan pendekatan *zona outfitting* sedangkan perencanaan jaringan kerja menggunakan metode CPM (*Critical Path Methods*).
4. Sistem perpipaan yang dimaksud adalah :
 - a. Sistem perpipaan *exhaust*
 - b. Sistem perpipaan isi, duga, dan pipa udara
 - c. Sistem perpipaan *air compressor*

- d. Sistem sanitasi air tawar
- e. Sistem sanitasi air laut
- f. Sistem bilga ballast
- g. Sistem bahan bakar
- h. Sistem minyak pelumas
- i. Sistem pendingin air laut dan air tawar

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini :

1. Menentukan jalur kritis pada perencanaan pembangunan blok lambung kapal *Ferry Ro-ro* 750 GT yang terintegrasi dengan sistem perpipaan.
2. Menentukan durasi pembangunan blok kamar mesin kapal *Ferry Ro-ro* 750 GT yang terintegrasi dengan sistem perpipaan.

1.5. Hasil dan manfaat penelitian

Adapun hasil dan manfaat penelitian sebagai berikut :

1. Hasil penelitian yang didapatkan dapat dijadikan sebagai bahan referensi kepada galangan kapal ketika ingin membuat perencanaan penjadwalan proyek pembangunan kapal terintegrasi dengan sistem perpipaan.
2. Sebagai referensi dalam pengembangan penelitian mahasiswa lebih lanjut.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun dalam 5 bab, dengan rincian sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dari penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang beberapa teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan metode yang digunakan untuk memperoleh hasil dari penelitian dan teknik analisa data.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini menyajikan hasil dari penelitian disertai pembahasan dari dari penelitian yang dilakukan.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisikan simpulan dari penulisan dan saran bagi pembaca.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Kapal *Ferry*

Kapal *ferry* adalah salah satu jenis kapal yang pembangunannya bertujuan sebagai transportasi penyeberangan barang dan penumpang dengan jarak pelayaran yang pendek dalam melintasi sungai atau antara pulau. Menurut Hadiwarsono (1996) dalam Alwan (2020), Kapal *ferry* mempunyai ciri umum sebagai berikut:

1. Geladak disyaratkan dengan lebar yang cukup besar untuk pengangkutan kendaraan agar arus keluarnya kendaraan menjadi cepat.
2. Penempatan kendaraan sedemikian rupa sehingga terlindungi dari air laut.
3. Pintu ramp, baik itu di depan dan di belakang maupun di samping.
4. Untuk mencukupi lebar kapal, kapal dilengkapi dengan vender untuk mencegah terjadinya shock.

Menurut PT ASDP Indonesia *Ferry*, jenis muatan kendaraan dibagi dalam beberapa golongan, yaitu:

- a. Golongan I adalah Sepeda gunung;
- b. Golongan II adalah Sepeda motor;
- c. Golongan III adalah Mobil roda 4 (jeep, sedan, pick up, sejenisnya) dengan ukuran 4,2 x 1,7 x 2,0 m;
- d. Golongan IV adalah Bus sedang dan truk sedang dengan ukuran 6,3 x 2,3 x 2,8 m;
- e. Golongan V adalah Bus besar dan truk besar 10 roda dengan ukuran 8,5 x 2,5 x 3,7 m;
- f. Golongan VI A adalah Alat berat (roda karet);
- g. Golongan VI B adalah Alat berat (roda besi).

Menurut Sastrowidongso (2000), peraturan pemuatan kendaraan di kapal *ferry* adalah:

- a. Ruang untuk kendaraan, tinggi ruang kendaraan mobil kecil/sedang minimal 2,5 m, kendaraan truk 3,8 m dan trailer 4,75 m;
- b. Jarak minimal kendaraan sisi kiri dan kanan 60 cm dan jarak antara muka dan belakang 30 cm;

- c. Jarak antara dinding kapal dengan kendaan 60 cm;
- d. Antara pintu ramp haluan dengan sekat tubrukan dan pintu ramp buritan dengan sekat buritan tidak boleh dimuati kendaraan.

2.2. Kontruksi Kapal

2.2.1. Sistem Kontruksi Kapal

Sistem konstruksi kapal dibedakan dalam dua jenis yakni sistem konstruksi melintang dan sistem konstruksi memanjang. Adapun pengertian dari masing-masing sistem konstruksi kapal, menurut Robert Taggart (1980) adalah sebagai berikut:

- 1) Sistem konstruksi melintang : dalam sistem ini gading-gading umumnya dipasang secara vertikal;
- 2) Sistem konstruksi memanjang : dalam sistem ini gading-gading umumnya dipasang secara memanjang. Sistem ini banyak digunakan pada kapal pengangkut muatan curah seperti tanker;
- 3) Sistem konstruksi kombinasi ; pada sistem ini bagian tengah kapal menggunakan sistem konstruksi memanjang, sementara bagian ceruk haluan dan ceruk buritan menggunakan sistem konstruksi melintang.

2.2.2. Elemen Konstruksi Kapal

1. Konstruksi Haluan

Pada haluan kapal terdiri dari beberapa elemen konstruksi sebagai berikut (Henny Amalia, 2018):

a) Linggi Haluan

Linggi haluan merupakan tempat untuk menempelkan pelat kulit dan juga penguat utama di bagian ujung depan kapal. Linggi batang dipasang dari lunas sampai garis sarat ke atas dilanjutkan dengan konstruksi linggi pelat.

b) Sekat tubrukan

Pemasangan sekat tubrukan pada suatu kapal sangat dibutuhkan karena sekat ini untuk menghindari masuknya air keruangan di belakangnya apabila terjadi kebocoran di ceruk haluan akibat menubruk sesuatu. Dengan rusaknya ceruk haluan kapal masih selamat, tidak tenggelam.

2. Konstruksi dasar (*Bottom*)

a) Lunas

Lunas adalah bagian konstruksi memanjang berupa pelat mulai dari linggi haluan sampai linggi buritan dan berposisi di dasar kapal. Pada bagian lunas inilah, kapal harus mampu mengatasi kerusakan, apabila kapal mengalami kandas.

b) Pelat alas

Pelat dasar (pelat alas) letaknya di dasar kapal, sebelah kiri dan kanan lajur lunas. Pelat ini menerima beban gaya tekan air, selanjutnya diteruskan ke wrang, penumpu tengah, dan penumpu samping. Pemasangan pelat ini sejajar dan simetris, mulai dari ujung depan sampai ujung belakang kapal.

c) Wrang (*floor*)

Wrang terdiri atas tiga jenis yaitu wrang penuh, terbuka, dan kedap air. Adapun penjelasan masing-masing wrang sebagai berikut:

- Wrang penuh adalah jenis wrang tidak membutuhkan kekedapan, karena pada wrang ini dilengkapi *lightening hole* dan *man hole*. Fungsi dari kedua lubang tersebut, di samping untuk memperingan konstruksi juga untuk lalu orang pada waktu pemeriksaan kerusakan elemen konstruksi. Sesuai peraturan Biro Klasifikasi di anjurkan dalam dasar ganda dipasang wrang alas penuh pada tiap-tiap jarak gading.
- Wrang terbuka terdiri atas gading alas yang melekat pada pelat alas dan gading balik pada pelat alas dalam. Wrang terbuka dihubungkan dengan penumpu tengah dan pelat tepi antara penumpu tengah, penumpu samping, dan pelat tepi.
- Wrang kedap berfungsi untuk membagi tangki di dasar kapal ke dalam bagian-bagian tersendiri secara memanjang, dan juga untuk membatasi *cofferdam* (ruang pemisah). Wrang kedap dihubungkan ke pelat alas, pelat alas dalam, pelat tepi, dan penumpu tengah serta penumpu samping.

d) Penumpu (*girder*)

Penumpu terdiri atas, Penumpu tengah (*Center Girder*) dan Penumpu samping (*Side Girder*).

3. Kontruksi lambung

Kontruksi lambung terdiri atas gading – gading yang dipasang disepanjang kapal sebagai tempat meletakkan kulit kapal dan diperkuat dengan balok sisi (*side stringer*). Pemasangan gading – gading sesuai dengan sistem konstruksi melintang ataupun memanjang. Gading – gading dinamai sesuai dengan letaknya. Gading yang terletak ditengah dibawah geladak utama disebut gading utama atau *main frame*, kemudian diatasnya disebut dengan gading geladak antara, gading bangunan atas, dan seterusnya pada daerah ceruk dinamai gading ceruk. (Alwan, 2020)

4. Kontruksi Kamar Mesin

Kamar mesin merupakan kompartemen yang sangat penting pada sebuah kapal. Di tempat inilah terdapat mesin penggerak kapal yang biasanya dinamakan mesin induk atau mesin utama. Di kamar mesin pula terletak sumber tenaga untuk membangkitkan listrik yang berupa generator listrik kapal, pompa-pompa, dan bermacam-macam peralatan kerja yang menunjang pengoperasian kapal. Konstruksi kamar mesin dibuat khusus karena adanya beban-beban tambahan yang bersifat tetap, seperti berputarnya mesin utama dan mesin lainnya.

a. Wrang pada kamar mesin

Wrang pada kamar mesin pada umumnya dipasang secara melintang. Ada kalanya di kamar mesin dipakai konstruksi dasar ganda. Hal tersebut mengingat ruang-ruang yang tersedia di antara wrang dapat dimanfaatkan sebagai tangki-tangki, seperti tangki bahan bakar dan minyak pelumas. Tetapi, dalam hal ini tidak berarti konstruksi alas tunggal sama sekali tidak dipakai. Di antara penumpu bujur fondasi mesin, modulus penampang Wrang alas boleh diperkecil sampai 40%. Tinggi pelat bilah wrang alas di sekitar fondasi mesin sedapat mungkin diperbesar, artinya tidak terlalu kecil jika dibandingkan dengan tinggi wrang. Tinggi wrang alas yang disambung ke gading-gading sarang harus dibuat sama dengan tinggi penumpu bujur fondasi.

b. Fondasi kamar mesin

Fondasi kamar mesin merupakan suatu sarana pengikat agar mesin tersebut tetap tegak dan tegar pada posisi yang telah ditetapkan atau supaya mesin menjadi satu kesatuan dengan kapalnya sendiri. Pemasangan fondasi mesin dibuat sedemikian rupa sehingga kelurusan sumbu poros mesin dengan poros baling-baling tetap terjamin. Hubungan antara mesin utama, fondasi mesin, dan wrang.

c. Gading dan senta kamar mesin

Perencanaan dan pemasangan gading-gading di kamar mesin pada pokoknya sama dengan pemasangan pada bagian-bagian kapal lainnya. Jadi, untuk perhitungan gading-gading di kamar mesin masih menggunakan peraturan untuk gading-gading di ruang muat. Oleh karena kamar mesin merupakan tempat khusus yang mendapat beban tambahan, antara lain bangunan atas atau rumah konstruksi khusus yang dapat menyalurkan beban-beban tersebut. Konstruksi tersebut berupa perbanyak gading-gading besar atau sarang dan senta lambung.

d. Selubung kamar mesin

Dengan proses pembangunan kapal, sewaktu bangunan atas dan rumah geladak belum dipasang, mesin utama sudah harus dimasukkan. Untuk memasukkan mesin ke dalam kamar mesin, dibuat lubang khusus di atas kamar mesin yang berupa bukaan dan dinamakan selubung kamar mesin. Bukaan di atas kamar mesin dan kamar ketel tidak boleh lebih besar dari kebutuhan yang ada. Dan, kebutuhan di sekitar selubung tersebut harus diperhatikan cukup tidaknya komponen konstruksi melintang yang dipasang. Pada ujung-ujung harus dibundarkan dan jika perlu diberi penguatan-penguatan khusus.

e. Terowongan poros

Pada kapal – kapal yang mempunyai kamar mesin tidak terletak di belakang, poros baling-baling akan melewati ruangan di belakang kamar mesin tersebut. Untuk melindungi poros baling - baling diperlukan suatu ruangan yang disebut Terowongan Poros (*Shaft Tunnel*). Terowongan poros dibuat

kedap air dan membujur dari sekat belakang kamar mesin sampai sekat ceruk buritan. Ukuran terowongan harus cukup untuk dilewati orang. Hal ini supaya orang masih dapat memeriksa, memperbaiki, dan memeliharanya. Ada dua tipe terowongan poros yang sering digunakan, yaitu terowongan yang berbentuk melengkung dan yang berbentuk datar sisi atasnya. Dinding-dinding terowongan poros dibuat dari pelat dan diperkuat dengan penegar-penegar. Sesuai dengan ketentuan dari BKI, tebal dinding terowongan dibuat sama dengan tebal pelat kedap air dan ukuran penegar juga dibuat sama dengan penegar sekat kedap air. Apabila dinding terowongan digunakan sebagai tangki, ukuran pelat dan penegar harus memenuhi persyaratan untuk dinding tangki.

f. Ukuran kamar mesin

1. Panjang kamar mesin

Sebagai dasar pertimbangan pemasangan mesin kapal dan perlengkapan kapal satu hal penting pada tahap awal perancangan adalah menentukan panjang kamar mesin, karena ukuran ini menentukan panjang kapal secara keseluruhan, yang selanjutnya juga mempengaruhi bentuk kapal, *performance*, struktur dan sebagainya. Diluar pertimbangan kemudahan akses dan perawatan, panjang kamar mesin sebaiknya sependek mungkin, karena makin panjang kamar mesin, makin besar berat konstruksi, dan makin kecil kapasitas / ruang muat.

2. Tinggi kamar mesin

Engine casing harus dibuat cukup tinggi untuk perawatan dan *overhaul* mesin induk secara priodik diadakan perawatan dan penggantian sehingga perlu untuk di keluarkan, untuk keperluan pengeluaran piston ini dibutuhkan ruang yang cukup atau tinggi engine casing harus cukup menunjang pekerjaan ini.

g. Layout kamar mesin

1. *Platform*

Di dalam merancang *platform* di dalam kamar mesin, beberapa pertimbangan perlu diambil yang antara lain adalah sebagai berikut :

- a) Luas *platform* diusahakan sekecil mungkin, sesuai dengan kebutuhan.
- b) Peralatan yang berat diusahakan tidak diletakkan di *platform*, agar konstruksi *platform* tidak menjadi terlalu berat dan titik berat kapal tidak bergeser keatas.
- c) Salah satu *platform* kamar mesin sebaiknya dibuat sama tinggi dengan *platform* tertinggi mesin induk untuk memudahkan perawatan dan overhaul mesin.
- d) Untuk *platform* yang lain harus dipertimbangkan tinggi untuk perpipaan dan pengkabelan, demikian juga kemungkinan *overhaul* permesinan yang besar seperti diesel generator dan sebagainya. Harus diperhatikan juga bahwa *clearance* (tinggi) minimum untuk lewat adalah sekitar 2 meter.

2. Pemasangan posisi mesin induk

Hal – hal yang harus diperhatikan untuk menetapkan posisi mesin induk adalah seperti berikut :

- a) Tempat untuk *intermediate shaft* (poros antara). Poros *propeler* harus dicabut dan diperiksa secara periodik, karena itu dibelakang mesin induk harus ada tempat yang cukup untuk mencabutnya. Jarak antara ujung belakang poros engkol mesin dan ujung depan tabung poros (*stren tube*) harus lebih panjang dari panjang poros propeler. Biasanya diberikan margin sebesar 500 – 1000 mm seperti telah disebutkan dimuka.
- b) Tempat untuk lewat dan perpiaan. Di sisi – sisi ujung belakang mesin induk harus ada tempat yang cukup untuk orang lewat maupun penempatan perpipaan di bawah *floor*.
- c) Tempat untuk cadangan poros *propeller*. Kalau kapal membawa cadangan poros *propeler*, tempatnya biasanya disisi poros antara ini harus dipastikan pada saat menetapkan posisi mesin induk. Untuk menggantung poros cadangan tersebut, ruang diatasnya sekitar 2 meter harus bebas agar dapat menempatkan takal pengangkat (chain block).

Untuk prosedur pencabutan poros propeler dan pengikatan poros cadangan, dianjurkan untuk berkonsultasi dengan perencana system poros.

- d) Tempat untuk pengencangan baut pengikat. Disekitar baut pengikat dan baut pas mesin induk harus tersedia ruang bebas agar orang bisa mengencangkan dan memeriksa baut pengikat mesin induk dengan leluasa.
- e) Tempat untuk membuka tutup poros engkol. Kedua sisi mesin induk pada ketinggian *floor* harus bebas dari penempatan peralatan untuk memudahkan pembukaan deksel. Biasanya tempat sekitar 600 mm di sekeliling mesin induk pada ketinggian *floor* dianggap cukup sekaligus untuk jalan ABK.
- f) Grating mesin induk. Untuk memudahkan perawatan dan pengawasan grating mesin induk tidak boleh dipotong. Kalau hal itu terpaksa dilakukan, misalnya untuk memudahkan pengangkatan peralatan dari *floor* ke atas, sebaiknya hal itu dikonsultasikan pihak produsen mesin. Lebar *Engine Casing* sebaiknya cukup untuk memasukkan mesin induk lengkap dengan gratingnya.
- g) Pengikatan bagian atas mesin induk. Untuk tipe mesin tertentu seperti Mitsuib & W 190GFCA dan L80GFCA, harus dibuat sejumlah alat pengikat. Untuk ini balok grating mesin dihubungkan dengan balok pengikat ke struktur kapal. Jumlah balok pengikat yang dibuat harus dengan persetujuan pihak produsen mesin. Karena fungsi pengikat (*top bracing*) ini untuk menghilangkan getaran, maka struktur kapal tempat pengikat ini harus betul – betul rigid. Karena itu juga sebaiknya platform kapal dibuat pada ketinggian grating mesin induk. Dalam merancang peletakan tangga, perpipaan, ducting ventilasi dll. Harus diperhatikan adanya batang – batang pengikat ini.
- h) *Manifold* gas buang. *Manifold* gas buang mesin induk setelah *turbocharger* harus diikat pada struktur kapal dengan penyangga yang kuat. Penyangga ini harus begitu kuat sehingga mampu menahan

getaran yang kuat serta tahan terhadap ekspansi termal akibat temperatur gas buang yang tinggi. Struktur kapal tempat penyangga ini tentu saja harus sama kuat dengan penyangganya. Untuk mengatasi tegangan akibat ekspansi termal, pada pipa gas buang harus dipasang beberapa *expansion joint*. Pada tahap awal perancangan, penempatan dan pengikatan pipa gas buang ini harus dirancang sebaik baiknya.

2.3. Instalasi Perpipaan

2.3.1. Material Instalasi Pipa

Bagian yang diperlukan dalam instalasi sistem pipa, sambungan aliran, pengatur katup dan lain-lain:

- Pipa adalah bagian utama dari suatu sistem yang menghubungkan titik dimana fluida disimpan ketitik pengeluaran.
- Sambungan adalah peralatan yang menghubungkan pipa satu ke pipa yang lain atau dari pipa kebadan kapal. Sambungan tersebut meliputi flens, sambungan T sambungan siku, sambungan melalui dinding kedap sambungan melalui dinding kedap, geladak dll.
- Alat pemutus dan alat pengarah aliran (*Valve*) adalah peralatan yang berguna untuk memutuskan, menghubungkan, serta merubah arah kebagian yang lain dari system pipa dan juga untuk mengontrol aliran dan tekanan dari fluida.
- Pengatur katup (*Valve gear*) adalah peralatan untuk mengontrol katup pada sistem pipa baik dari tempat itu (*local control*) maupun dari tempat yang jauh (*remote control*).
- Peralatan lain, peralatan ini biasanya digunakan dalam sistem tertentu, antara lain adalah sebagai berikut :
 - 1) Pipa khusus untuk pemasukan (*pipe line*);
 - 2) Kotak Lumpur (*mud boxes*);
 - 3) Saringan pemasukan;
 - 4) Separator (untuk memisahkan air laut dengan lumpur, pasir dan batu);
 - 5) *Steam trap* (untuk menampung pengembunan uap air didalam sistem pipa);

- 6) *Sprinklers* (Sistem pemadam dengan menggunakan air bertekanan didalam pipa).

Ditinjau dari bahannya, pipa-pipa yang digunakan untuk sistem dalam kapal dibedakan menjadi beberapa macam.

- Pipa baja tanpa sambungan (*Seamless drawn steel pipe*). Pipa jenis ini dapat dipergunakan untuk semua penggunaan, misalnya untuk pipa bertekanan pada sistem bahan bakar dan untuk pipa pengeluaran bahan bakar dari pompa injeksi bahan bakar dari motor pembakaran dalam.
- Pipa baja dengan sambungan las (*Lap-welded steel pipe*). Pipa jenis ini tidak dipergunakan dalam sistem pipa yang tekanan kerjanya melampaui 350 psi atau temperatur lebih besar dari 450°F.
- Pipa dari baja tempa atau kuningan (*Seamless drawn pipe*). Pipa ini digunakan untuk pipa bahan bakar atau pipa-pipa yang di dalamnya mengalir minyak. Pipa ini dapat dipergunakan untuk semua tujuan dimana temperatur tidak melampaui 406°F, pipa ini tidak boleh dipergunakan pada uap dengan pemanasan lanjut (*superheated steam*).
- Pipa-pipa timah hitam. Pipa-pipa ini dapat dipergunakan untuk saluran sistem bilga. Pipa ini tidak boleh digunakan di dalam ruangan-ruangan dimana pipa mudah kena api, karena dengan meleburnya sebuah pipa dapat merusak seluruh sistem bilga.

2.3.2. Gambar Produksi

Untuk memasang sistem instalasi pipa diatas kapal harus ada gambar produksi, yaitu gambar sistem instalasi pipa yang bisa diterapkan langsung di atas kapal. Ada dua macam gambar produksi.

- *Arrangement pipe*, yang dimaksud *arrangement pipe* adalah gambar sistem instalasi pipa yang sudah berorientasi pada posisi pipa diletakkan. Jadi, posisi pipa sudah bisa ditentukan jaraknya terhadap sekat kedap (*bulkhead*) dan alas ganda (*double bottom*). Di dalam gambar *arrangement* ini kita sudah berorientasi pada satu kapal kecuali kamar mesin. Fungsi dari gambar

arrangement ini adalah menerjemahkan gambar-gambar diagram dan berguna untuk instalasi pipa. Biasanya gambar-gambar arrangement dibagi berdasarkan lokasi misalnya arrangement pipa pada daerah ruang muat, upper deck, ruang akomodasi, dan lain-lain. Karena arrangement pipe berorientasi pada lokasi, maka di dalam satu gambar arrangement pipa bisa terdiri dari beberapa sistem.

- *Production drawing*, yang dimaksud dengan *production drawing* adalah gambar-gambar yang akan digunakan dalam berproduksi pada bengkel pipa. Gambar ini didapat dari gambar arrangement pipa yang dipecah berdasarkan blok-blok yang sudah direncanakan.

2.3.3. Identifikasi Komponen Pipa

Komponen perpipaan ini harus dibuat sesuai dengan spesifikasinya, standar yang terdaftar dalam simbol dan kode yang telah dibuat atau dipilih pada sebelumnya. Komponen-komponen tersebut meliputi pipa-pipa (*pipes*), flens-flens (*flanges*), sambungan (*fittings*), katup (*valves*), dan saringan (*strainer*), serta *air vent*.

2.4. Proses Pembangunan Kapal

Proses pembangunan kapal merupakan ratusan bahkan ribuan rangkaian kegiatan yang melibatkan seluruh sumber daya galangan. Sumber daya galangan meliputi tenaga kerja (*man*), bahan (*material*), peralatan dan mesin (*machine*), tata cara kerja (*method*), dana (*money*), area pembangunan (*space*) dan sistem (*system*).

Suatu industri yang menghasilkan produk-produk seperti kapal (*ships*), struktur bangunan lepas pantai (*offshore structures*), bangunan apung (*floating plants*) untuk pemesan/pemilik secara pribadi, perusahaan, pemerintah dan lain-lain disebut industri pembangunan kapal (*shipbuilding*). Dalam banyak kasus produk dibuat berdasarkan pesanan sesuai dengan persyaratan khusus pemesan. Hal ini pun berlaku apabila kapal di buat secara seri/sejenis (*series*).

Menurut Storch (1995) dan Watson (2002), secara umum tahapan pembangunan kapal sangat bervariasi, bergantung keinginan pemesan, namun secara umum tahapan ini meliputi:

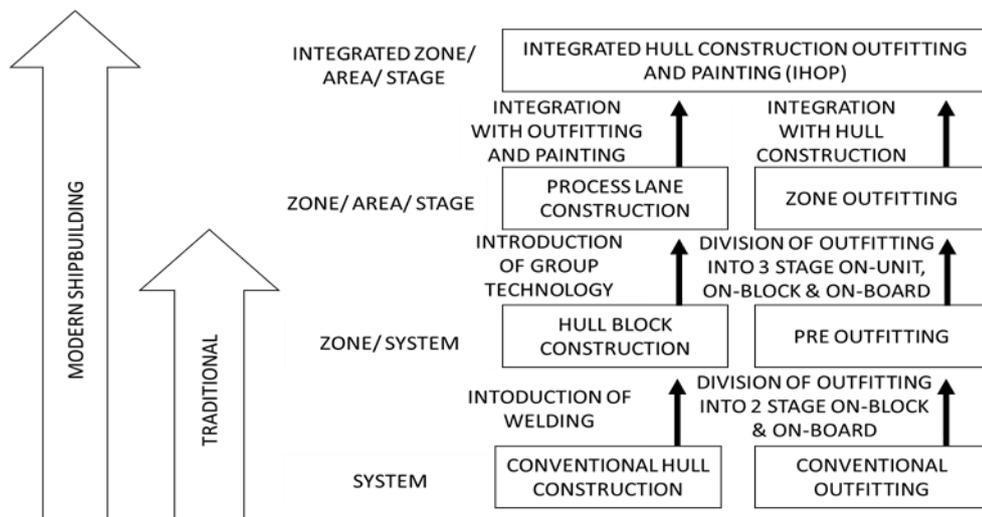
- Pengembangan keinginan pemesan (*development of owner's requirements*).
- Desain konsep atau prarancangan (*preliminary/concept design*).
- Desain kontrak (*contract design*).
- Penawaran/penandatanganan kontrak (*bidding/contracting*).
- Perencanaan dan desain detail (*detail design and planning*).
- Fabrikasi dan Perakitan (*construction*).

Akhir dari tahapan proses pembangunan kapal adalah mengerjakan/merakit kapal. Perakitan kapal pada dasarnya terdiri dari empat level atau tingkatan manufaktur. Pertama adalah manufaktur komponen atau bagian. Biasa disebut fabrikasi yaitu menghasilkan komponen-komponen dari bahan baku (seperti pelat baja, pipa, kabel, profil dan lain-lain). Tahapan berikutnya adalah penggabungan/penyambungan bagian atau komponen untuk membentuk unit-unit atau *sub-assembly*. Bagian- bagian kecil disatukan, kombinasi ini digunakan ke level berikutnya membentuk blok lambung. Blok lambung umumnya merupakan seksi yang sangat besar dari pembangunan sebuah kapal yang akan dibawa ke landasan pembangunan. *Erection* atau penegakan blok merupakan level paling akhir, mencakup penyambungan dan peletakan blok di landasan pembangunan (seperti landasan peluncuran, dok kolam atau dok kering).

Jadi tahapan pengkonstruksian dalam pembangunan kapal utamanya mencakup mulai dari fabrikasi (*fabrication*), perakitan awal (*sub-assemblies*), perakitan blok, erection (penegakan blok) sampai membentuk secara utuh kapal. Hal yang paling penting dalam tahapan ini adalah mengverifikasi kapal telah dibuat dengan kontrak yang telah disepakati. Konsekuensinya kapal akan mengalami/menjalani serangkaian pengujian dan percobaan pelayaran sehingga dapat diserahkan ke pemesan.

2.5. Teknologi Produksi Kapal

Menurut Chirillo (1982) perkembangan teknologi produksi bangunan kapal dapat dibagi ke dalam empat jenis tahapan sesuai dengan teknologi yang digunakan pada proses produksinya seperti gambar dibawah.



Gambar 2. 1. Tahapan Perkembangan Teknologi Produksi

(Sumber: Chirillo, 1982 dalam Wahyuddin, 2011)

2.5.1. Conventional Hull Construction and Outfitting

Tahapan pertama ini, diberi nama tahapan/sistem tradisional karena pekerjaan dipusatkan pada masing-masing sistem fungsional yang ada dikapal. Kapal direncanakan dan dibangun sebagai suatu sistem.

Pertama lunas diletakkan, kemudian gading-gadingnya dipasang dikulitnnya. Bila badan kapal hampir selesai dirakit pekerjaan outfitting dimulai. Pekerjaan outfitting direncanakan dan dikerjakan sistem demi sistem, seperti pemasangan ventilasi, sistem pipa, listrik dan mesin. Metode ini merupakan metode yang paling konvensional dengan tingkat produktifitas masih sangat rendah, karena semua lingkup pekerjaan dilakukan secara berurutan dan saling ketergantungan satu sama lain sehingga membutuhkan waktu yang sangat lama. Mutu hasil pekerjaan sangat rendah karena hampir seluruh pekerjaan dilakukan secara manual di *building berth*, kondisi tempat kerja kurang mendukung dari segi keamanan, kenyamanan, dan kemudahan/posisi kerja.

Pengorganisasian pekerjaan sistem demi sistem seperti ini merupakan halangan untuk mencapai produktifitas yang tinggi. Mengatur dan mengawasi pekerjaan pembuatan kapal menggunakan ratusan pekerja adalah sukar. Kegagalan seorang pekerja menyelesaikan suatu pekerjaan yang diperlukan oleh pekerja lain sering mengakibatkan "overtime" untuk pekerja tersebut, dan idleness bagi pekerja yang lain. Selain itu, hampir semua aktivitas produksi dikerjakan di-building berth pada posisi yang relatif sulit. Semua keadaan di atas pada prinsipnya sangat menghalangi usaha-usaha untuk menaikkan produktifitas.

2.5.2. Hull Block Construction Method dan Pre Outfitting (Sistem Seksi atau Blok Konvensional)

Tahapan ini, dimulai dengan digunakannya teknologi pengelasan pada pembuatan kapal. Proses pembuatan badan kapal kemudian menjadi proses pembuatan blok-blok atau seksi-seksi di las, seperti seksi geladak dan kulit dan lain-lain, yang kemudian dirakit menjadi badan kapal. Perubahan ini diikuti dengan perubahan pekerjaan outfitting, dimana pekerjaan ini dapat dikerjakan pada blok dan pada badan kapal yang sudah jadi. Perubahan ini dikenal dengan pre-outfitting. Tahapan kedua ini masih dipertimbangkan tradisional, karena *design, material definition* dan *procurement* masih dikerjakan sistem demi sistem. Sedang proses produksinya diorganisasi berdasarkan *zone* atau *block*, sehingga tahapan ini juga dikenal sebagai "sistem/stage". Karena adanya dua aspek yang bertentangan antara perencanaan dan pengerjaannya, banyak kesempatan untuk perbaikan produktifitas masih tidak dapat dilakukan.

Dengan menerapkan teknologi HBCM and *Pre Outfitting*, keluaran (*output*) dalam satuan *ton-steel/year* mengalami peningkatan dan mutu pekerjaan yang dihasilkan menjadi lebih baik. Hal ini dikarenakan oleh volume pekerjaan pada building berth berkurang dan pekerjaan pengelasan lebih banyak dilakukan pada bengkel-bengkel dengan kondisi lingkungan kerja yang lebih nyaman, aman dan mudah. Pekerjaan pengelasan juga sudah dapat dilakukan dengan menggunakan mesin las semi-otomatis dengan posisi *down-hand*.

2.5.3. *Process-lane Hull Construction dan Zone Outfitting atau Full Outfitting Block System (FOBS)*

Process-lane Hull Construction and Zone Outfitting merupakan tahapan berikutnya yang diberi nama *zone/area/stage*. Kebanyakan galangan di Jepang dan Eropa menggunakan sistem ini. Evolusi dari teknologi pembangunan kapal moderen dari metode tradisional dimulai pada tahapan ini. Tahapan ini ditandai dengan *process lane construction dan zone outfitting*, yang merupakan aplikasi *group teknologi* (GT) pada *hull construction dan outfitting work*. GT adalah suatu metode analitis untuk secara sistematis menghasilkan produk dalam kelompok-kelompok yang mempunyai kesamaan dalam perencanaan maupun proses produksinya untuk memperoleh keuntungan dari produksi massal (*mass-product*).

Process lane dari segi praktis adalah suatu seri *work station* (bengkel) yang dilengkapi dengan fasilitas produksi (mesin, peralatan dan tenaga kerja dengan keahlian tertentu) untuk membuat satu kelompok produk yang mempunyai kesamaan dalam proses produksinya. Suatu contoh pengelompokan adalah sebagai berikut: pertama adalah *process lane* untuk *sub assembly* bentuk datar, kurva dan bentuk kompleks. Dengan pengelompokan seperti ini, berarti galangan mengelompokkan proses produksi berdasarkan kesamaan proses produksi, yang memungkinkan pekerja berpengalaman mengerjakan-pekerjaan di bengkel kerja. Ini adalah suatu faktor yang penting untuk mencapai produktifitas tinggi.

2.5.4. *Integrated Hull Construction, Outfitting and Painting (IHOP)*

Tahapan keempat ditandai dengan suatu kondisi dimana pekerjaan pembuatan badan kapal, *outfitting* dan pengecatan sudah diintegrasikan. Keadaan ini digunakan untuk menggambarkan teknologi yang paling maju di industri perkapalan, yang telah dicapai IHI Jepang. Pada tahapan ini proses pengecatan dilakukan sebagai bagian dari proses pembuatan kapal yang terjadi dalam setiap *stage*. Selain itu karakteristik utama dari tahapan ini adalah digunakannya teknik-teknik manajemen yang bersifat analitis, khususnya analisa statistik untuk mengontrol proses produksi atau yang dikenal sebagai *accuracy control system*.

2.6. Konsep Product Work Breakdown Structure (PWBS)

Konsep PWBS dideskripsikan menggunakan GT (*group technology*). GT (*group technology*) biasa juga disebut family manufaktur (FM), digunakan untuk manajemen proses industri yang dimaksudkan untuk pengembangan sistem yang sangat efisien yang dimulai dengan pengklasifikasian dan tata kode. Penggunaan famili dimaksudkan untuk mengurangi jumlah penomoran dari komponen-komponen yang berbeda, begitu juga jumlah operasi, ukuran beban/volume kerja. Dengan demikian tujuan utama GT untuk mengurangi proses pekerjaan penyimpangan/pergudangan sejauh yang diinginkan. Logikanya PWBS membagi proses produksi kapal menjadi tiga jenis pekerjaan yaitu (Wahyudin, 2011).

Klasifikasi pertama adalah : *Hull Construction*, *Outfitting* dan *Painting*. Dari ketiga jenis pekerjaan tersebut masing-masing mempunyai masalah dan sifat yang berbeda dari yang lain. Selanjutnya masing-masing pekerjaan kemudian dibagi kedalam tahap fabrikasi dan *assembly*. Subdivisi *assembly* inilah yang terkait dengan zona dan yang merupakan dominasi dasar bagi zona di siklus manajemen pembangunan kapal. Zona yang berorientasi produk, yaitu *Hull Blok Construction Method* (HBCM) dan sudah diterapkan untuk konstruksi lambung oleh sebagian besar galangan kapal.

Klasifikasi kedua adalah mengklasifikasikan produk berdasarkan produk antara (*interim product*) sesuai dengan sumber daya yang dibutuhkan, misalnya produk antara di bengkel *fabrication*, *assembly* dan bengkel *erection*. Sumber daya tersebut meliputi :

- a. Bahan (*Material*), yang digunakan untuk proses produksi, baik langsung maupun tidak langsung, misalnya pelat baja, mesin, kabel, minyak, dan lain – lain.
- b. Tenaga Kerja (*Manpower*), yang dikenakan untuk biaya produksi, baik langsung atau tidak langsung, misalnya tenaga pengelasan, outfitting dan lain – lain.

- c. Fasilitas (*Facilities*), yang digunakan untuk proses produksi, baik langsung maupun tidak langsung, misalnya, gedung, dermaga, mesin, perlengkapan, peralatan dan lain - lain
- d. Beban (*Exspenses*), yang dikenakan untuk biaya produksi, baik langsung maupun tidak langsung, misalnya, desain, transportasi, percobaan laut (*sea trial*), upacara, dll

Klasifikasi ketiga adalah klasifikasi berdasarkan empat aspek produksi, hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pengendalian proses produksi. Aspek pertama dan kedua adalah *system* dan *zone*, merupakan sarana untuk membagi desain kapal ke masing – masing bidang perencanaan untuk di produksi. Dua aspek produksi lainnya yaitu *area* dan *stage* merupakan sarana untuk membagi proses kerja mulai dari pengadaan material untuk pembangunan kapal sampai pada saat kapal diserahkan kepada owner.

Definisi dari keempat aspek produksi tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Sistem adalah sebuah fungsi struktural atau fungsi operasional produksi, misalnya sekat *longitudinal*, sekat *transversal*, sistem tambat, bahan bakar minyak, sistem pelayanan, sistem pencahayaan, dan lain – lain.
- b. Zona adalah suatu tujuan proses produksi dalam pembagian lokasi suatu produk, misalnya, ruang muat, *superstructure*, kamar mesin, dan lain – lain.
- c. Area adalah pembagian proses produksi menurut kesamaan proses produksi ataupun masalah pekerjaan yang berdasarkan pada:
 - Bentuk (misalnya melengkung dengan blok datar, baja dengan struktur aluminium, diameter kecil dengan diameter besar pipa, dan lain - lain)
 - Kuantitas (misalnya pekerjaan dengan jalur aliran, volume on-blok perlengkapan untuk ruang mesin dengan volume on-blok perlengkapan selain untuk ruang mesin, dan lain - lain).
 - Kualitas (misalnya kelas pekerja yang dibutuhkan, dengan kelas fasilitas yang dibutuhkan, dan lain - lain).

- Jenis pekerjaan (misalnya, penandaan (*marking*), pemotongan (*cutting*), pembengkokan (*bending*), pengelasan (*welding*), pengecatan (*painting*), pengujian (*testing*), dan lain – lain, dan
 - Hal lain yang berkaitan dalam pekerjaan.
- d. Stage adalah pembagian proses produksi sesuai dengan urutan pekerjaan, misalnya sub-pembuatan (*sub-steps of fabrication*), sub-perakitan (*sub-assembly*), perakitan (*assembly*), pemasangan (*erection*), perlengkapan on-unit (*outfitting on-unit*), perlengkapan on-block (*outfitting on-block*), dan perlengkapan on-board (*outfitting on-board*).

Pada dasarnya berbagai rincian yang diperlukan untuk jenis pekerjaan berorientasi produk dalam pekerjaan konstruksi kapal, harus ditentukan dahulu metode berorientasi - zona (*zone Oriented*) pekerjaan tersebut yaitu:

- a. *Hull Block Construction Methode* (HBCM),
- b. *Zone Outfitting Method* (ZOFM),
- c. *Zone Painting Method* (ZPTM), serta
- d. *Pipe Piece Family Manufacturing* (PPFM).

2.6.1. Hull Block Construction Method (HBCM)

Tingkat manufaktur atau tahapan untuk *Hull Blok Construction Method* didefinisikan sebagai kombinasi dari operasi kerja yang mengubah berbagai masukan ke dalam produk antara (*interim products*) yang berbeda, seperti bahan baku (*material*) menjadi *part fabrication*, *part fabrication* menjadi *sub block assembly* dan lain – lain. Tingkat manufaktur atau tahapan untuk pembuatan kapal berdasarkan metode *Hull Block Construction Method* (HBCM) dapat diperlihatkan pada gambar dibawah ini :

- Penyambungan pelat atau nil.
- Penandaan dan pemotongan.
- Pembengkokan atau nil.

Nil diindikasikan tidak ada dalam aspek-aspek produk, atau pengkodean dan kategorinya tidak ada (*left blank*) atau dilangkahi/diabaikan dari aliran proses. Komponen-komponen yang akan dibengkokan dalam jumlah banyak, problem area-nya dapat dibagi-bagi berdasarkan ketersediaan sumber daya, seperti:

- Tekan biasa (bentuk kurva yang tidak dalam dengan satu aksis).
- Tekan kuat (*flens bracket*)
- *Line heating* dengan mesin (bentuk kurva yang tidak dalam dengan dua aksis)
- *Line heating* dengan tangan (bentuk kurva yang dalam dengan dua aksis dan untuk memperbaiki semua jenis komponen)

2. Perakitan komponen (*Part Assembly*)

Part Assembly adalah tingkat manufaktur kedua yang khusus atau di luar aliran kerja utama (*main work flow*). Tipikal paket-paket pekerjaan ini digroupkan atau dikelompokkan ke dalam problem area sebagai berikut :

- *Built-up parts* (komponen asli, seperti profile T, profile L, atau bentuk-bentuk yang tidak di rol)
- *Sub-blok parts* (seperti komponen yang harus disatukan dengan las, secara konsisten misalnya pemasangan bracket dengan face plate atau pelat datar,

Stage dibagi menjadi Perakitan-perakitan dan Pembengkokan atau nil.

3. Perakitan Sub-blok (*Sub-block Assembly*)

Sub-block Assembly adalah tingkat manufaktur ketiga. Zona secara umum adalah menyatukan komponen dengan las, meliputi memfabrikasi sejumlah komponen-komponen dan atau merakit komponen-komponen, ini dilakukan ke dalam panel saat perakitan blok. Tipikal paket-paket pekerjaan dikelompokkan ke dalam problem area untuk :

- Kesamaan ukuran dalam jumlah yang sangat besar, seperti gading-gading besar, penumpu tengah, wrang-wrang dan lain-lain. Kesamaan ukuran dalam jumlah kecil.

Stage diklasifikasikan sebagai perakitan dan *back assembly* atau nil. Setelah selesai *back assembly* komponen-komponen dan rakitan komponen dapat dipasang dari kedua sisi. *Back assembly* juga ditambahkan setelah pemutaran rakitan.

4. *Semi-block and Block Assembly dan Grand-Block Joining*

Blok adalah merupakan kunci zona untuk perakitan badan kapal yang terindikasi. Blok direncanakan dalam tiga level perakitan, yaitu :

- *Semi-block assembly* (perakitan semi blok)
- *Block assembly* (perakitan blok)
- *Grand-block joining* (penggabungan blok).

Hanya perakitan blok yang menjadi aliran utama pekerjaan, level-level lain dianjurkan digunakan sebagai alternatif perencanaan. Semua perencanaan didasarkan atas konsep pengelompokan paket-paket pekerjaan dalam problem area dan stage. *Semi block* dirakit sebagai zona terpisah dari zona kunci (blok), semi-block kemudian dirakit ke dalam blok menjadi blok induk sehingga proses ini kembali masuk ke dalam aliran utama pekerjaan. Penggabungan blok-blok (kombinasi beberapa blok-blok menjadi blok besar disisi dekat landasan pembangunan) mengurangi waktu kerja yang dibutuhkan untuk penegakan blok (*erection*) di landasan pembangunan. Dalam penggabungan blok-blok sedapat mungkin harus stabil, membutuh area dan volume yang besar, sehingga harus difasilitasi untuk pekerjaan *out-fitting on block* dan pengecatan. Zona *semi-block*, perakitan blok dan penggabungan blok besar (*grand block*) menjadi rentang perubahan dari blok menjadi kapal

2.6.2. *Zone Outfitting Method (ZOFM)*

Perencanaan *Outfitting* adalah terminologi yang digunakan untuk menggambarkan/mendeskripsikan alokasi sumber daya untuk pekerjaan penginstalan komponen-komponen kapal selain struktur lambung kapal. Saat ini banyak diaplikasikan perencanaan *outfitting* dengan nama *Method Zone Outfitting*

(ZOFM) yang sebelumnya adalah metode *Conventional Outfitting*. Metode ZOFM dianjurkan untuk diaplikasikan pada galangan-galangan dengan keuntungan-keuntungan adalah :

1. Meningkatkan keselamatan kerja.
2. Mengurangi biaya-biaya produksi.
3. Kualitas baik.
4. Produktifitas tinggi.

Perencana ZOFM, merinci pekerjaan *outfit* ke dalam paket-paket pekerjaan, dan pertimbangkan komponen-komponen outfit untuk semua sistem dalam *zona on-board* dan mencoba untuk memaksimalkan jumlah dipasang/diinstalasi pada *zona on-block*. Tujuannya adalah untuk meminimalkan pekerjaan outfit selama dan setelah ereksi lambung.

Optimalisasi ukuran paket pekerjaan dapat dicapai ketika isi pekerjaan hampir seragam. Keseimbangan paket-paket pekerjaan didasarkan pertimbangan mengelompokkan komponen ke dalam aspek produk zona, problem area dan stage. Faktor-faktor yang mempengaruhi keseimbangan kerja, seperti alokasi tenaga kerja dan penjadwalan. tujuan lain dari perencana ZOFM meliputi:

- a) Pemindahan posisi pekerjaan fitting (instalasi), terutama las, dari posisi sulit ke posisi lebih mudah yaitu down hand , sehingga dapat mengurangi baik jam-orang dan jangka waktu yang diperlukan.
- b) Memilih dan merancang komponen yang dapat diatur kedalam grup fitting untuk pemasangan/perakitan on-unit, sehingga simplifying perencanaan dan penjadwal dan dengan menjaga berbagai jenis pekerjaan yang terpisah pada tingkat manufaktur paling awal.
- c) Memindahkan pekerjaan dari ruang tertutup, sempit, tinggi, atau tidak aman ke tempat-tempat terbuka, luas, dan rendah, sehingga memaksimalkan keamanan dan akses untuk penanganan material.
- d) Perencanaan secara simultan/kompak, paket- paket pekerjaan, sehingga mengurangi waktu instalasi secara keseluruhan.

2.6.3. Zone Painting Method (ZPTM)

ZPTM adalah penambahan alamaia dari logika yang digunakan pada HBCM dan ZOFM. Dalam hal ini pekerjaan pengecatan mengalami proses transfer dari metode yang secara tradisional dilakukan di landasan pembangunan atau di dermaga outfitting, ke metode yang mengintegrasikan pekerjaan pengecatan dengan pekerjaan perakitan lambung dan proses instalasi secara menyeluruh pada level-level manufaktur baik pada perakitan awal, perakitan sub-blok sampai perakitan dan penegakan blok. Tipikal pekerjaan pengecatan pada dasarnya sama dengan proses perakitan dimana pekerjaan tersusun dalam sebuah hirarki menjadi sebuah level-level manufaktur. Aplikasi pekerjaan ini sukses apabila memperhatikan persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

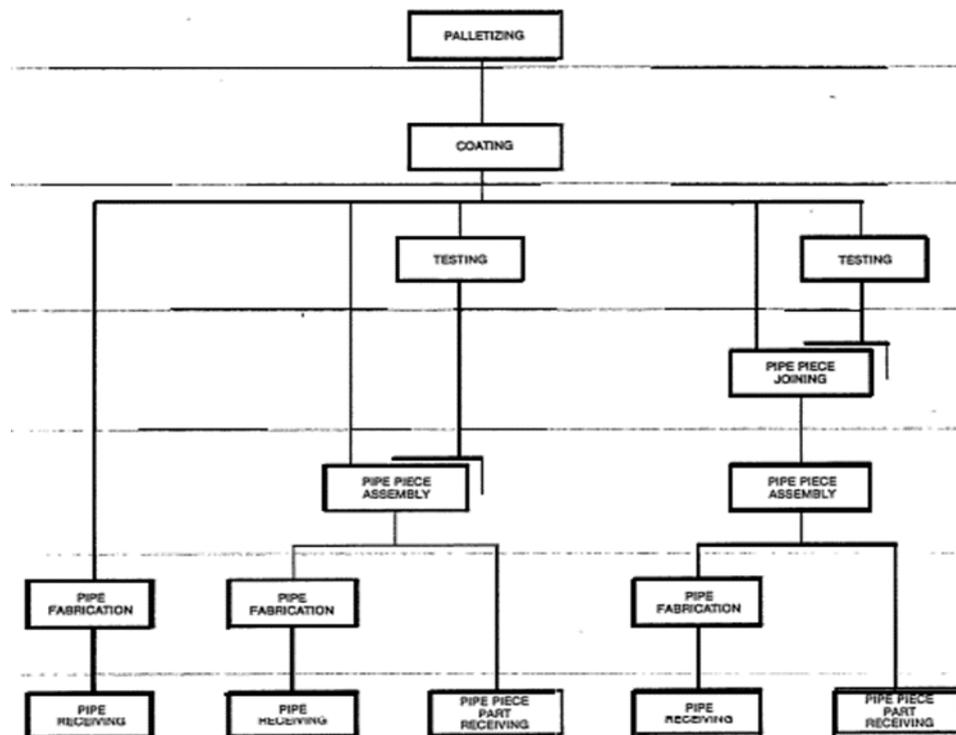
1. Interval pengecatan antara lapisan pertama dengan lapisan berikutnya harus lebih pendek dari periode paparan yang diijinkan.
2. Setiap perakitan blok lambung diselesaikan dengan meminimalkan pekerjaan persiapan permukaan dan pengecatan ulang akibat pekerjaan pemotongan, pemasangan dan pengelasan

2.6.4. Pipe Piece Family Manufacturing (PPFM)

A. Prinsip Dasar *Pipe Piece Family Manufacturing* (PPFM)

PPFM (*Pipe Piece Family Manufacturing*) merupakan salah satu aplikasi dari *Group Technology* (GT). *US Departement of Commerce* (1982) dalam Alwan (2020) mengemukakan bahwa *Group Technology* (GT) merupakan filosofi yang digunakan para pembangun kapal berkompeten untuk mengklasifikasikan secara sistematis potongan pipa ke dalam kelompok (*group*) dengan desain atau elemen produksi serupa untuk menghasilkan produk yang lebih mudah dibuat. Pengumpulan pipa-pipa yang terlihat berbeda ke dalam satu *family* dimaksudkan untuk menghindari perencanaan, penjadwalan, serta pabrikasi pekerjaan yang membutuhkan banyak tenaga. Sebagai gantinya, bagian-bagian yang berbeda dirancang pada mesin dan peralatan yang sama untuk kemudian diuraikan berdasarkan lajur prosesnya.

Metode ini telah berhasil diterapkan oleh Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd dari Jepang. PPFM adalah metodologi komprehensif yang menyederhanakan suatu proses produksi dalam berbagai jenis dan jumlah contohnya pipa udara serta potongan pipa-pipa lainnya. Perencanaan dan penjadwalan yang harus dilakukan lebih rumit dibandingkan dengan metode tradisional yang kurang produktif dan berorientasi pada sistem. Penentuan family mempertimbangkan desain serta berbagai perlengkapan produksi. Diantaranya yang pertama yaitu jenis dan bentuk material dan yang kedua meliputi, Sistem control manajemen dan Kapasitas bengkel pipa dan subkontraktor yang terlibat secara rutin, serta peralatan fabrikasi dan tata letaknya. (Kasama, 1982)



Gambar 2. 3. Tingkat Produksi pada metode PPFM

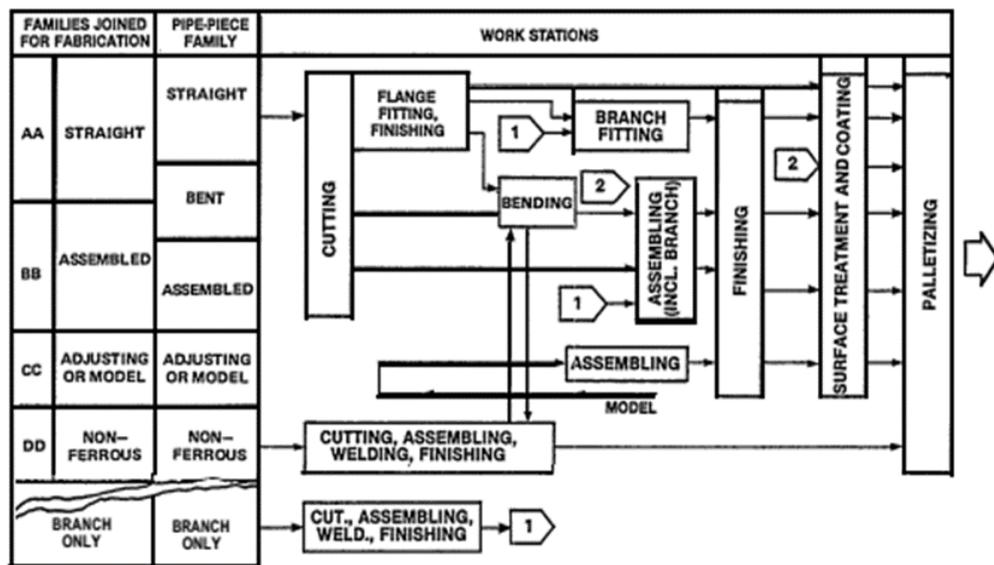
(Sumber: US Departement of Commerce ,1982)

B. Aliran Kerja Pipe Piece Family Manufacturing (PPFM)

Peningkatan produktivitas melalui prinsip-prinsip lini produksi memerlukan proses kerja standar diantaranya prosedur, fasilitas, keterampilan, persyatan dan durasi kerja. Secara teori, setiap lini produks hanya terdiri dari aktivitas yang

terurut, misalnya marking, cutting, dan assembling yang dibutuhkan untuk memproduksi potongan pipa untuk satu jenis/*family*. Pekerjaan ini hanyalah menghasilkan duplikasi dari fasilitas yang tidak perlu untuk lini produksi pipa-pipa tersebut, oleh karena itu berbagai macam family kemudian digabung dan diserasikan. Tujuannya bukan lain untuk menghindari atau meminimalkan pembalikan arah aliran kerja dasar. Adapun faktor-faktor lain yang mempengaruhi pola aliran antara lain :

- Tingkatan, *by pipe-piece family*, dimana beban kerja puncak biasanya diimbangi oleh subkontrak
- Proses kerja, biasanya disubkontrakkan terlepas dari beban kerja, misalnya pipa baja lapisan plastik.



Gambar 2. 4. Aliran Kerja Pada Pipe-Piece Family
(Sumber : US Departement of Commerce, 1982)

2.7. Teori Pemotongan

Jika sebuah struktur dibuat, prosedur pertama adalah pemotongan material dan ada beberapa metode pemotongan. Tenaga mekanis digunakan untuk pengguntingan dan penggergajian, dan sumber panas temperatur tinggi digunakan untuk pemotongan dengan gas dan mesin potong busur plasma. Berbagai macam teknik pemotongan digunakan dalam sehari-harinya, tergantung dengan

kebutuhannya, misalnya seperti kapasitas pemotongan, jenis material yang dipotong, akurasi pemotongan, kualitas permukaan potong, kemampuan operasinya, efisiensi biaya dan faktor keamanan. Sumber energi panas yang digunakan untuk pemotongan termal termasuk reaksi oksidasi, energi listrik, energi sinar dan kombinasi dari tersebut diatas. Bagaimanapun juga pemotongan termal sangat jarang digunakan hanya dengan energi termal saja. Sebagian besar dari potong termal dilakukan dengan pemanasan bagian logam yang dipotong dan peniupan terak yang timbul sebagai hasil dari pemotongan oleh gas.

2.8. Teori Pengelasan

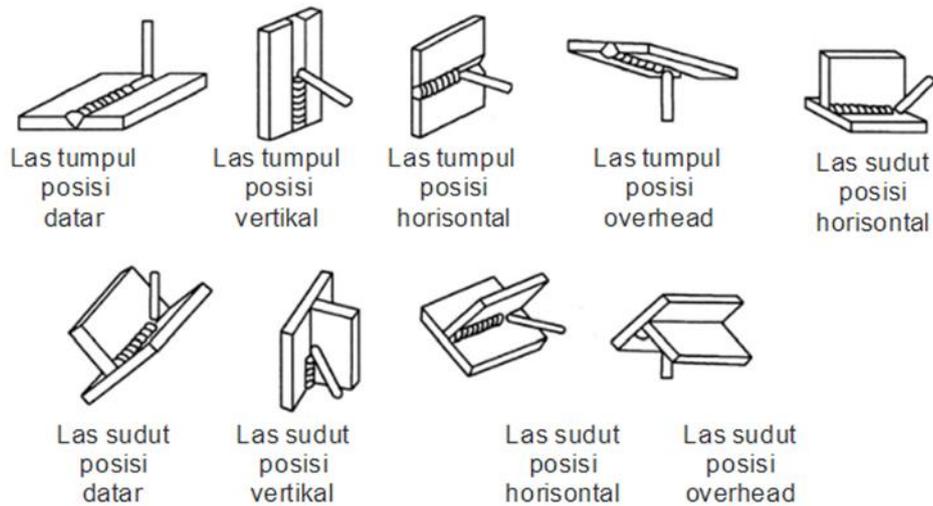
Menurut Eyres (2007), berkat teknologi las bagian-bagian seperti gading-gading dapat langsung dilakukan dengan pelat kulit, lunas dapat dilas dengan bagian geladak dan sekat sekaligus membentuk panel, sub-blok atau bahkan blok. Teknologi las juga membuat banyak pekerjaan perakitan dapat dilakukan dengan baik dengan tingkat akurasi, efisiensi dan keamanan yang tinggi dilandaskan peluncuran maupun di bengkel-bengkel kerja. Blok telah dikerjakan dengan menggunakan teknologi las dapat ditegakkan (*erected*) antara blok dengan blok lain membentuk sebuah kapal. Proses ini diistilahkan berorientasi zone (*zone oriented*).

2.8.1. Prosedur Pengelasan (WPS)

Prosedur pengelasan (WPS) adalah suatu perencanaan untuk pelaksanaan pengelasan yang meliputi cara pembuatan konstruksi pengelasan yang sesuai dengan rencana dan spesifikasinya dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Karena itu mereka yang menentukan prosedur pengelasan harus mempunyai pengetahuan dalam hal pengetahuan bahan dan teknologi pengelasan itu sendiri serta dapat menggunakan pengetahuan tersebut untuk efisiensi dari suatu aktivitas produksi. Ada 2 hal kualifikasi pengelasan yang harus dipenuhi yaitu :

1. Kualifikasi prosedur las (*Welding Procedure Specification*) atau biasa disingkat dengan WPS.
2. Kualifikasi juru las/operator las (*Welder/Welding Operator Qualification*).

2.8.2. Posisi Pengelasan



Gambar 2. 5. Jenis-Jenis Pengelasan

(Sumber: Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1, 2008)

Terdapat empat posisi pengelasan : datar (bawah tangan), vertikal, horisontal dan diatas kepala (*overhead*). Posisi pengelas dan ketinggian benda kerja harus disetel untuk memudahkan pengelasan dilakukan pada posisi yang nyaman dan untuk memperbesar tingkat efisiensi.

a. Posisi Datar (Bawah Tangan)

Benda kerja terletak diatas bidang datar dan possisinya dibawah tangan dengan arah tangan dari kiri ke arah kanan. Dari keempat posisi pengelasan tersebut, posisi bawah tanganlah yang paling mudah melakukannya. Oleh sebab itu untuk menyelesaikan setiap pekerjaan pengelasan sedapat mungkin diusahakan pada posisi dibawah tangan.

b. Posisi Mendatar (*Horizontal*)

Benda tegak berdiri dan arah pengelasan berjalan mendatar dari kiri ke arah kanan sejajar dengan bahu pengelas. Pada posisi horizontal kedudukan benda dibuat tegak dan arah pengelasan mengikuti garis horizontal. Panjang busur nyala dibuat lebih pendek kalau dibandingkan dengan panjang busur nyala pada posisi pengelasan dibawah tangan

c. Posisi Tegak (*Vertical*)

Posisi benda kerja tegak dan arah pengelasan berjalan bisa naik dan bisa Juga turun. Pada pengelasan vertical, benda kerja dalam posisi tegak dan arah pengelasan dapat dilakukan keatas/naik atau kebawah/turun. Arah pengelasan yang dilakukan tergantung kepada jenis elektroda yang dipakai. Elektroda yang berbusur lemah dilakukan pengelasan keatas, elektroda yang berbusur keras dilakukan pengelasan kebawah.

d. Posisi atas kepala (*Overhead*)

Pengelasan dari bawah dan benda kerja berada diatas operator. Posisi pengelasan diatas kepala, bila benda kerja berada pada daerah sudut 45o terhadap garis vertical, dan juru las berada dibawahnya. Pengelasan posisi diatas kepala, sudut jalan elektroda berkisar antara 75o – 85o tegak lurus terhadap kedua benda kerja. Busur nyala dibuat sependek mungkin agar pengaliran cairan logam dapat ditahan.

2.9. Manajemen Waktu Proyek

2.9.1. Beban Kerja

Beban kerja merupakan suatu variabel untuk menetapkan waktu kerja efektif pekerja dalam menyelesaikan suatu pekerjaan. Pada proses perakitan blok lambung kapal, pengukuran beban kerja berbeda untuk setiap jenis pekerjaan diantaranya (Alwan, 2020):

- *Lifting*, pengukuran beban kerja didasarkan pada berat material diangkat/dipindahkan dalam satuan ton,
- *Fitting*, pengukuran beban kerja berdasarkan panjang objek pengelasan fit-up dan dihubungkan dengan las titik.
- *Welding*, pengukuran beban kerja berdasarkan total panjang pengelasan pada objek pengelasan. Total panjang pengelasan didapatkan dari panjang objek pengelasan dikalikan dengan jumlah layer/lapisan las

2.9.2. Produktivitas

Definisi produktivitas secara sederhana adalah hubungan antara kualitas yang dihasilkan dengan jumlah kerja yang dilakukan untuk mencapai hasil. Secara teknis produktivitas adalah suatu perbandingan antara hasil yang dicapai (*output*) atau

perbandingan antara hasil yang dicapai dengan peran tenaga kerja persatuan waktu. Produktivitas dapat digunakan sebagai tolak ukur keberhasilan suatu industri atau galangan kapal dalam menghasilkan barang atau jasa. Sehingga semakin tinggi perbandingannya, berarti semakin tinggi produk yang dihasilkan. (Harlian, 2020)

Dalam proses pembangunan kapal, beberapa jenis kegiatan seperti *lifting*, *fitting*, dan *welding* akan sangat mempengaruhi durasi/waktu yang diperlukan. Adapun rumus untuk mendapatkan durasi pada tiap komponen kegiatan ialah sebagai berikut : (Harlian, 2020)

$$Durasi = \frac{\text{jam orang}/JO \text{ (jam per orang)}}{\text{Jumlah tenaga kerja (orang)}} \dots\dots\dots(1)$$

$$JO = \text{Beban Kerja} \times \text{Tingkat kebutuhan} \dots\dots\dots(2)$$

Sehingga,

$$Durasi = \frac{\text{Beban kerja} \left(\frac{\text{ton}}{\text{meter}}\right) \times \text{Tingkat kebutuhan} \left(\frac{\text{jam}}{\text{ton/meter}}\right)}{\text{Jumlah tenaga kerja (orang)}} \dots\dots\dots(3)$$

2.10. Network Planning (Perencanaan Jaringan Kerja)

Network planning merupakan model instrumen pengukuran jadwal proyek dengan menggunakan logika jaringan kerja untuk mendeteksi item pekerjaan yang berada pada jalur kritis maupun untuk mengetahui detail pekerjaan yaitu dapat menentukan waktu paling cepat (*early time*) dan waktu paling lama (*latest time*) untuk dikerjakan. Prinsip Dasar Penjadwalan *Network Planning*, Ada beberapa hal yang harus dilakukan terlebih dahulu dalam membuat metode jaringan kerja, yaitu:

- a. Menentukan aktivitas kegiatan
- b. Menentukan beban masing-masing kegiatan
- c. Menentukan durasi aktivitas kegiatan
- d. Mendiskripsikan aktivitas/kegiatan
- e. Menentukan hubungan yang logis

Adapun cara pembuatan diagram kerja untuk menyelesaikan suatu proyek secara keseluruhan ditulis dalam bentuk simbol-simbol, yaitu (Harlian kustiwanasa,2020) :

1. 

Anak panah melambangkan kegiatan (activity) yang merupakan bagian dari keseluruhan pekerjaan yang dilaksanakan, kegiatan mengkonsumsi waktu dan sumber daya serta mempunyai waktu mulai dan berakhir.

2. 

Lingkaran melambangkan peristiwa yang menandai permulaan dan akhir suatu kegiatan.

3. 

Anak panah terputus-putus melambangkan kegiatan semu (dummy activity). Kegiatan semu bukan suatu kegiatan senyatanya dan tidak memerlukan alokasi sumber daya (waktu dan biaya).

Dalam menyusun analisa jaringan kerja ada langkah-langkahnya (Rahmawati, 2007) sebagai berikut :

- a) Menginvestasikan kegiatan-kegiatan yang diperlukan dalam proses produksi secara keseluruhan.
- b) Menentukan urutan pekerjaan yang akan dilakukan.
- c) Menentukan perhitungan waktu yang diperlukan untuk setiap jenis kegiatan di dalam produksi.
- d) Penyusunan diagram network/jaringan kerja.
- e) Menentukan jalur kritis.

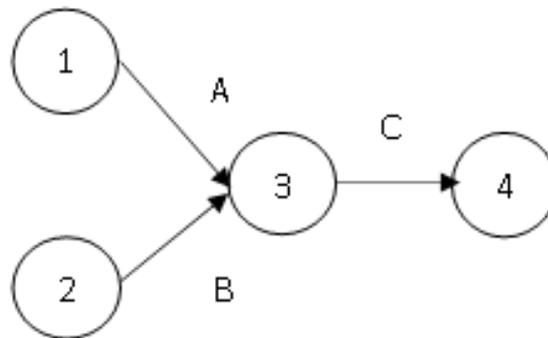
Dalam menggambarkan diagram jaringan kerja, lingkaran dan anak panah melukiskan hubungan antar kegiatan-kegiatan dalam pelaksanaan proyek. Arti dari penggunaan simbol tergantung pada model yang dipakai dalam pembuatan diagram jaringan kerja. (Harlian Kustiwanasa, 2020)

Menurut Schroeder dalam rahmawati (2007), Ada dua macam model jaringan kerja untuk pembuatan jaringan kerja, yaitu:

1) Model activity on arc (AOA)

AOA adalah model jaringan kerja yang menekankan titik hubungan kegiatan yang berorientasi pada peristiwa dengan menggunakan anak panah untuk menggambarkan kegiatan (activity) dan lingkaran (node) untuk menggambarkan kejadian atau peristiwa (event). Sebuah event adalah titik dimana ada satu atau lebih kegiatan yang diselesaikan dan satu atau lebih kegiatan dimulai. Sebuah kegiatan memerlukan waktu serta sumber daya. Model ini digunakan untuk menggambarkan jaringan kerja dengan metode Program Evaluation and Review Technique (PERT).

Gambar di bawah ini menunjukkan bahwa hubungan kegiatan pendahulu diperlukan agar sebuah kejadian tidak terjadi sebelum aktivitas yang mendahuluinya selesai (kejadian 4 tidak dapat terjadi sebelum aktivitas A,B dan C selesai).



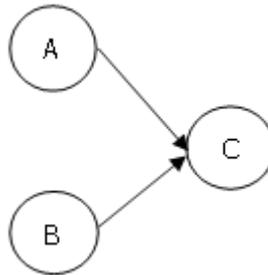
Gambar 2. 6. Diagram Jaringan Kerja AOA

= Kejadian 
= Kegiatan 

2) Model activity on node (AON)

AON adalah model diagram jaringan kerja yang berorientasi pada kegiatan dengan menggunakan lingkaran (node) untuk menggambarkan kegiatan dan anak panah menunjukkan urutan kegiatan dimana kegiatan harus dilaksanakan. Model

ini digunakan untuk menggambarkan jaringan kerja dengan metode jalur kritis (CPM). Pada gambar di bawah ini hubungan kegiatan pendahulu diperlukan agar sebuah aktivitas tidak dapat dimulai sebelum aktivitas yang mendahuluinya selesai (aktivitas C tidak dapat dimulai sebelum aktivitas A dan B selesai).



Gambar 2. 7. Diagram Jaringan Kerja AON

= Kegiatan 
 = Kejadian 

2.11. Metode – Metode Pengolahan

2.11.1. Program Evaluation and Review Technique (PERT)

Metode PERT menggunakan pendekatan yang menganggap bahwa kurun waktu penyelesaian pekerjaan tergantung pada banyak faktor, sehingga lebih baik perkiraan diberi rentang (range), yaitu memakai tiga angka estimasi.

Metode PERT mengakomodasi perhitungan tiga buah estimasi durasi setiap kegiatan. Ketiga estimasi durasi tersebut adalah:

- a) a atau kurun waktu optimis (optimistic duration time), yaitu waktu tersingkat untuk menyelesaikan pekerjaan bila segala sesuatu berjalan baik dan mulus.
- b) m atau kurun waktu paling mungkin (most likely time), yaitu kurun waktu paling sering terjadi dibandingkan dengan yang lain apabila kegiatan dilakukan berulang-ulang dengan kondisi yang hampir sama.
- c) b atau kurun waktu pesimis (pessimistic duration time), yaitu waktu yang paling lama untuk menyelesaikan pekerjaan.

Ketiga waktu perkiraan tersebut dipergunakan untuk menghitung waktu yang paling diharapkan (expected time) atau t_e . Berikut ini adalah rumus kurun waktu yang diharapkan dalam pelaksanaan penyelesaian pekerjaan atau proyek adalah:

$$t_e = \frac{(a + 4m + b)}{6} \dots\dots\dots(4)$$

$$v = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2 \dots\dots\dots(5)$$

Semakin besar nilai v (keragaman), semakin kecil t_e (waktu estimasi) dapat dipercaya, dan semakin tinggi kemungkinan pekerjaan proyek akan selesai lebih awal atau lebih lambat daripada t_e . Makin besar rentang $a-b$, maka makin berbeda antara waktu estimasi atau harapannya dengan real aktualisasinya. Metode PERT dan CPM memiliki perbedaan sebagai berikut:

- a) Penerapan metode, metode PERT digunakan pada perencanaan dan pengendalian proyek yang belum pernah dikerjakan sebelumnya, adapun metode CPM penggunaannya untuk melakukan penjadwalan dan pengendalian aktivitas yang sudah pernah dikerjakan sebelumnya sehingga waktu, data, serta biaya setiap unsur kegiatan telah diketahui lebih dulu oleh evaluator.
- b) Waktu pengerjaan, metode PERT menggunakan tiga jenis waktu pengerjaan yaitu yang tercepat, terlama serta terlayak, adapun pada metode CPM hanya terdiri dari satu jenis informasi waktu pengerjaan saja, yaitu waktu yang paling tepat dan layak untuk menyelesaikan suatu proyek.
- c) Fokus metode, pada metode PERT yang fokus ditekankan adalah pada faktor ketepatan waktu, karena menurut metode ini dengan memangkas waktu maka berdampak pada menurunnya biaya proyek, sedangkan pada metode CPM focus yang ditekankan adalah pada ketepatan biaya proyek rencana dengan realisasi.
- d) Pada metode PERT anak panah menunjukkan tata urutan (hubungan presidentil) sedangkan pada CPM tanda panah adalah kegiatan.

2.11.2. Critical Path Method (CPM)

Menurut Sumyang, 2003 (Alwan 2020) CPM atau “*Critical Path Method*” adalah sebuah metode penjadwalan jaringan proyek yang menggunakan penyeimbangan antara waktu dan biaya. Masing-masing aktivitas dapat diselesaikan lebih cepat dari waktu yang telah ditentukan yaitu dengan cara merubah dan menambah biaya. Ada beberapa pengertian jalur kritis berdasarkan beberapa ahli adalah (Alwan, 2020) :

1. Menurut T. Hani Handoko (1997 : 407), jalur kritis adalah jalur terpanjang pada network dan waktunya menjadi waktu penyelesaian minimum yang diharapkan untuk masing-masing alternatif.
2. Menurut Lalu Sumayang (2003 : 157), jalur kritis adalah aktivitas yang mempunyai waktu penyelesaian terlama. Aktivitas pada jalur kritis ini berarti mempunyai waktu longgar atau slack sebesar Nol. Aktivitas ini harus selesai pada waktunya untuk mencegah penyelesaian proyek tertunda.

Adapun komponen-komponen dalam CPM menurut Handoko, 1997: 402 (Alwan, 2020) adalah :

1. Kegiatan atau *activity*, Kegiatan adalah bagian dari keseluruhan pekerjaan yang harus dilaksanakan.
2. Peristiwa atau *event*, Peristiwa merupakan pelaksanaan kegiatan dalam rencana program yang menandai mulainya dan akhirnya suatu kejadian.
3. Waktu kegiatan, Hal pokok yang perlu diperhatikan dalam network planning adalah penentuan waktu setiap kegiatan yang diperlakukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan atau proyek secara keseluruhan.

Model aktivitas (kegiatan) Metoda Jalur Kritis / CPM ditampikan seperti diagram dibawah ini :

Es	A	Ef
Ls	T	Lf

Keterangan : Es = Earliest Start

A = Suatu kejadian (activity)

Ls = Latest Start

T = Durasi kegiatan A

Ef = Earliest Finish

Lf = Latest Finish

Adapun penggunaan diagram dapat dilakukan apabila kegiatan dan waktu kegiatan telah diketahui. Model event metode jalur kritis dibagi atas dua yaitu waktu EET atau Earliest Event Time adalah waktu suatu kejadian paling cepat dapat terjadi sedangkan LET atau Latest Event Time adalah waktu suatu kejadian paling lambat harus terjadi supaya waktu penyelesaian proyek tidak terlambat. Proses perhitungan dilakukan dengan 2 cara, yaitu perhitungan kedepan dan perhitungan kebelakang. Adapun tahapannya sebagai berikut :

1. Untuk tahapan pertama ialah perhitungan ke depan. Kegiatan yang telah terurut mulai dari awal kegiatan sampai akhir kegiatan dibuatkan diagram yang membentuk sebuah alur baik seri ataupun paraler. Selanjutnya perhitungan diagram dimulai dari depan ke belakang kegiatan dengan pengerjaan pertama adalah tabel bagian atas diagram pada setiap kegiatan. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut :

a) Es = Earliest Start yaitu waktu kejadian paling awal suatu kegiatan bisa dimulai, dimana perhitungan waktu Es sama dengan waktu Ef pada kegiatan sebelumnya. Sehingga,

$$Es = 0 = Ef \dots\dots\dots(6)$$

Apabila pada perhitungan terdapat dua atau lebih kegiatan yang berbeda sebelumnya, maka nilai Ef yang diambil adalah nilai yang terbesar dari kegiatan tersebut.

b) Ef = Earliest Finish yaitu waktu kejadian paling awal suatu kejadian dapat di selesaikan, dimana perhitungan waktu Ef adalah Es ditambah dengan T (durasi suatu kegiatan). Sehingga,

$$Ef = Es + T \dots\dots\dots(7)$$

2. Untuk tahapan kedua ialah perhitungan kebelakang. Setelah tahapan pertama dikerjakan, selanjutnya perhitungan dimulai dari belakang ke depan pada alur kegiatan. Dimana perhitungan diagram ialah tabel bawah bagian diagram pada setiap kegiatan. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut :

- a) Lf = Latest Finish yaitu waktu kejadian paling lambat suatu kejadian harus selesai. dimana perhitungan waktu Lf sama dengan waktu Ls pada kegiatan setelahnya. Sehingga,

$$Lf = Ls \dots\dots\dots(8)$$

Apabila pada perhitungan terdapat dua atau lebih kegiatan yang berbeda setelahnya, maka nilai Lf yang diambil adalah nilai yang terkecil dari kegiatan tersebut.

- b) Ls = Latest Start yaitu waktu kejadian paling lambat suatu kegiatan harus dilaksanakan. dimana perhitungan waktu Ls adalah Lf dikurang dengan T (durasi suatu kegiatan). Sehingga,

$$Ls = Lf - T \dots\dots\dots(9)$$